

PENGARUH DEPOSISI LAPISAN TIPIS TiN PADA UJUNG MATA BOR TERHADAP LAJU PENGEBORAN PADA BAHAN BAJA KARBON RENDAH

Hari Agung Yuniarto¹⁾, Viktor Malau²⁾, Mudjijana³⁾, Adika⁴⁾

ABSTRACT

Enhancing performance of a drill bit can be performed by taking improvement into material hardness characteristics. This will be done by depositing a TiN thin layer within implantation time variable using accelerator. Implanted ions will be collided with electrons and atoms target. Once they are losing their energy, they will be settled within material target and actually change material's properties. The aim of this research is to gain investigation of the effect of TiN thin layer deposition on a drill bit related to the drilling rate which is closely influenced production rate in manufacturing areas.

Empirical method then would be used to compare hardness gained from metal implantation with one without ion implantation. Samples from various diameters were implanted within different time implantation. The sample with highest hardness number then could be determined as a maximum hardness with optimum time variable. Eventually, the optimum time variable was used as an implantation time to implant drill bits for drilling rate analysis.

Results of the research showed that ion implantation had strong effect into increasing drilling rate. These could also be summarized that drilling rate has positif correlation with axial load in drilling process.

Key words: accelerator, implantation, TiN, thin layer deposition, drilling rate

PENGANTAR

Umur mata bor merupakan tinjauan ekonomi yang sangat penting pada suatu proses produksi industri manufaktur. Variasi dalam laju pengeboran/*drilling rate* dan pembebanan/*loading* pada operasi pembuatan lubang suatu logam, biasanya dipilih sebagai variabel yang harus diperhatikan agar didapatkan umur pakai ekonomis sebuah mata bor dengan laju produksi yang tinggi. Hal ini dibuktikan bahwa dengan ditingkatkannya kualitas sisi potong pahat maka umur pahat akan ditingkatkan pula, sehingga akan didapatkan volume produksi maksimal dengan biaya produksi minimal (Boothroyd, 1975).

Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki kualitas sisi potong (kekerasan) mata bor HSS dari pengaruh dideposisikannya lapisan tipis TiN terhadap laju pengeboran pada benda kerja bahan baja karbon rendah, dengan menggunakan mesin implantor ion yang merupakan aplikasi teknologi nuklir dan atom.

Kekerasan bahan mata bor yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh dosis ion terimplantasi yang merupakan fungsi waktu implantasi ion, sehingga dengan meningkatnya kekerasan mata bor akibat implantasi dapat diperoleh laju pengeboran yang semakin tinggi pula.

TINJAUAN PUSTAKA

Pelapisan tipis/*deposition* pada sisi permukaan bahan suatu ujung mata bor dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Selain teknik *sputtering*

(Mudjijana et al., 2001), teknik implantasi ion dengan mesin implantor ion/*accelerator machine* juga dapat dipergunakan (Dearnaly et al, 1973). Implantasi ion adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas bahan dengan jalan mencangkokkan ion suatu senyawa berkecepatan tinggi. Selama proses implantasi berlangsung, ion-ion tersebut berinteraksi dan bertumbukan dengan elektron-elektron dan inti target, sehingga ion akan kehilangan energi dan akhirnya berhenti pada jangkauan penetrasi tertentu. Rusaknya struktur atom-atom target yang diakibatkan oleh tercangkoknya ion-ion tersebut dapat merubah komposisi kimia maupun struktur bahan, baik struktur mikro ataupun struktur kristalnya (Dressel, 1992). Hal ini dikenal sebagai "kerusakan radiasi"/*radiation damage*.

Senyawa pelapis implantasi ion, TiN, adalah material dengan sifat-sifat super yaitu sangat keras, tahan suhu tinggi dan koefisien gesekan rendah (Rudenja et al, 1997), sedangkan faktor-faktor seperti kecepatan potong dengan benda kerja diyakini sebagai faktor signifikan yang mempengaruhi umur ujung mata bor (Boothroyd, 1975; Venkatesh and Chandrasekaran, 1982).

LANDASAN TEORI

Besar dosis ion adalah jumlah ion yang terimplantasi/tercangkokkan ke material target per satuan luas. Dosis ion dapat dihitung dengan persamaan (Dearnaley et al, 1973):

¹⁾ Hari Agung Yuniarto, S.T., M.Sc. adalah staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

²⁾ Dr. Ir. Viktor Malau, DEA adalah staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

³⁾ Ir. Mudjijana, M.Eng. adalah staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

⁴⁾ Adika, S.T. adalah alumnus Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

$$D = \frac{I \cdot t}{e \cdot A} \quad (1)$$

dengan D = dosis ion (ion/cm²)
 I = arus ion (ampere)
 t = waktu implantasi (detik)
 e = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19} \text{C}$)
 A = luas permukaan target (cm²)

Jangkauan total ion dalam material target dapat ditentukan dengan persamaan (Mayer et al, 1970):

$$R_i = \frac{60 m_s (m_i + m_s) (Z_i^{2/3} + Z_s^{2/3})^{1/2}}{N_0 \cdot Z_i \cdot Z_s \cdot m_s} E_0 \quad (2)$$

dengan R_i = jangkauan ion terimplantasi (Angstrom)
 N_0 = jumlah atom per satuan volume (atom/cm³)
 m_i = massa ion dopan (amu)
 m_s = massa ion sasaran (amu)
 Z_i = nomor atom dopan
 Z_s = nomor atom sasaran
 E_0 = energi ion dopan mula-mula (keV)

Sedangkan banyaknya atom target per satuan volume (kerapatan atom) dinyatakan dalam persamaan:

$$N_0 = \frac{\rho \cdot N_A}{m_2} \quad (3)$$

dengan ρ = rapat massa atom target (gr/cm³)
 N_A = bilangan avogadro ($6,0223 \times 10^{23}$ atom/gr atom)
 m_2 = massa atom target (gr)

Angka kekerasan diperhitungkan sebagai beban dibagi luas permukaan jejak indenter, atau dapat ditentukan dari persamaan:

$$KHN = 14.32 \frac{P}{L^2} \quad (4)$$

dengan KHN = Knoop Hardness Number (grf/ μm^2)
 P = beban indenter (grf)
 L = panjang diagonal yang terpanjang (μm)

Laju pengeboran mata bor pada kondisi kekerasan optimum dapat dihitung dengan mengamati lama waktu pengeboran atau dengan mengukur hasil kedalaman pengeboran dengan persamaan (Boothroyd, 1975):

$$f_n = \frac{L_w}{t_m \cdot x n_f} \quad (5)$$

dengan f_n = laju pengeboran (mm/put)
 t_m = lama waktu pengeboran (menit)
 L_w = kedalaman hasil pengeboran (mm)
 n_f = putaran pahat bor (rpm)

CARA PENELITIAN

Bahan

1. Mata bor HSS

a. Ø10 mm:

- i. 4 buah: masing-masing dipotong menjadi 2 bagian @ 10 mm, untuk sampel uji dalam menentukan waktu implantasi optimum/optimum time variable serta uji kekerasan dan uji struktur mikro.
- ii. 6 buah : dibiarkan utuh dan tidak diimplan
- iii. 6 buah : dibiarkan utuh dan diimplan sesuai dosis pada optimum time variable

b. Ø8 mm:

- i. 6 buah : dibiarkan utuh dan tidak diimplan
- ii. 6 buah : dibiarkan utuh dan diimplan sesuai dosis pada optimum time variable

c. Ø7 mm:

- i. 6 buah : dibiarkan utuh dan tidak diimplan
- ii. 6 buah : dibiarkan utuh dan diimplan sesuai dosis pada optimum time variable

2. Pelat baja karbon rendah → tebal pelat = 10 mm

3. Ampelas → ukuran: 1600 mesh

4. Pasta intan/autosol

5. Alkohol/acetone

6. Senyawa TiN (serbuk)

7. Negative film 55mm

Alat

1. Mesin potong EDM (*Electric Discharge Machining*)
2. Mesin polish
3. Gerinda
4. Accelerator/mesin implantor ion
5. Microhardness Tester (Knoop)
6. Mesin bor
7. Stopwatch
8. Jangka sorong
9. Mikroskop optik
10. Kamera

Prosedur Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

i. Mempersiapkan sampel uji.

Empat buah mata bor dengan diameter 10 mm dipotong menjadi 2 bagian dari bagian ujung menggunakan EDM, masing-masing sepanjang 10 mm sehingga didapatkan 8 buah mata bor potongan. Satu mata bor potongan tersebut tidak diimplan dan digunakan untuk uji kekerasan logam serta uji struktur mikro, sedangkan 7 buah mata bor potongan lainnya disiapkan untuk proses implantasi ion senyawa TiN dan selanjutnya dilakukan pula uji kekerasan logam, uji struktur mikro serta uji komposisi kimia bahan.

ii. Melakukan proses implantasi ion senyawa TiN dengan *accelerator*.

Mata bor potongan Ø10 mm yang sudah disiapkan menjadi sampel uji selanjutnya dilakukan proses implantasi ion dengan variasi waktu implantasi: non implantasi, 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit, 180 menit, 210 menit, energi ionisasi 90 keV serta arus ionisasi 20 µA.

Setelah proses implantasi dengan variasi waktu implantasi selesai dilakukan, maka selanjutnya sampel uji dilakukan pengujian kekerasan logam yang berfungsi untuk mengetahui kekerasan maksimal sehingga akan didapatkan pula *optimum time variable* dari sejumlah variasi waktu implantasi yang sudah dilakukan. *Optimum time variable* selanjutnya digunakan dalam proses implantasi ion pada mata bor utuh yang pada akhirnya nanti akan digunakan untuk uji laju pengeboran. Diameter mata bor yang digunakan pada proses implantasi ion mata bor utuh adalah Ø7 mm, Ø8 mm dan Ø10 mm.

iii. Pengujian kekerasan bahan.

Sampel uji yang telah selesai diimplan selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan bahan untuk menentukan kekerasan maksimal sehingga waktu implantasi ion optimal dapat digunakan untuk proses implantasi mata bor utuh.

Setiap sampel uji, sesuai dengan variasi waktunya, dilakukan uji kekerasan *Knoop* menggunakan alat *Micro Hardness Tester MXT70 Matsuzawa* sebanyak 3 kali di tempat yang berlainan agar didapatkan kekerasan rata-ratanya.

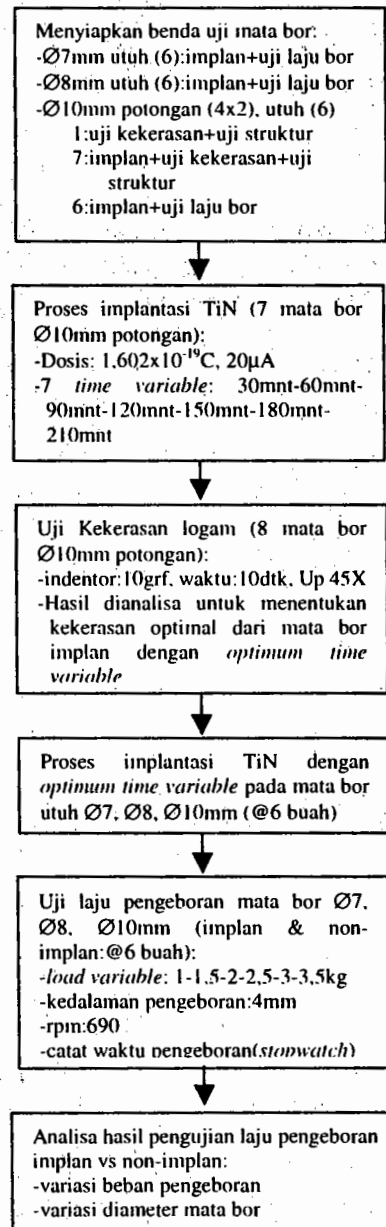
iv. Melakukan analisa struktur mikro.

Sebelum pengamatan struktur mikro dapat dimulai dengan mikroskop optik, permukaan sampel uji harus diyakinkan terlebih dahulu bahwa telah didapatkan kondisi permukaan yang

benar-benar rata, halus dan mengkilap seperti cermin. Langkah selanjutnya adalah dilakukan proses etsa pada permukaan tersebut menggunakan nital 5% untuk kemudian diamati di bawah mikroskop optik.

v. Pengujian laju pengeboran.

Setelah kekerasan optimal bahan berhasil didapatkan dari pengujian kekerasan logam, selanjutnya mata bor utuh dapat dilakukan proses implantasi sehingga hasilnya dibandingkan kekerasan dan kemampuan proses pengeborannya dengan mata bor non implantasi.



Gambar 1. Bagan alir prosedur pelaksanaan

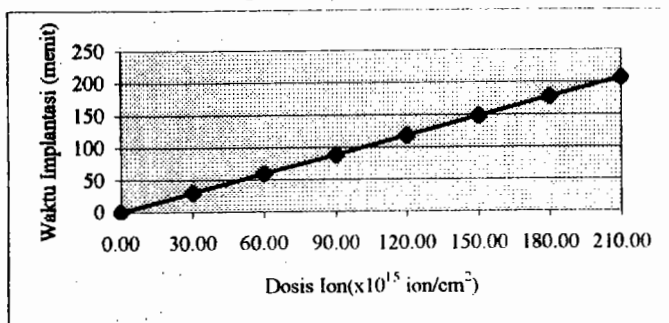
Analisis Hasil

Data hasil penelitian ditunjukkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kekerasan logam dengan dosis ion, laju pengeboran dengan variasi diameter mata bor dan laju pengeboran dengan variasi pembebanan. Foto-foto hasil analisa uji struktur mikro juga ditampilkan untuk menunjukkan perubahan struktur yang terjadi. Kedua bentuk hasil penelitian tersebut di atas selanjutnya dianalisis dengan cara membandingkan parameter yang berpengaruh pada mata bor implantasi dengan non implantasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dosis Ion Terimplantasi

Dosis ion dapat diperoleh dari variasi waktu lamanya implantasi ion dengan menggunakan persamaan (1). Arus ion yang digunakan dalam penelitian ini adalah $20 \mu\text{A}$, luas permukaan target = 7.593 cm^2 , muatan elektron = $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ dan energi implantasi = 90 keV . Hasil perhitungan dosis ion diilustrasikan dalam grafik di gambar 2.



Gambar 2. Grafik waktu implantasi vs dosis ion

Pada penelitian ini digunakan waktu implantasi ion sebagai variabel, sementara besaran-besaran yang lainnya merupakan konstanta. Dengan demikian akan terlihat pada gambar 2 di atas bahwa dosis ion (D) linear terhadap waktu implantasi (t).

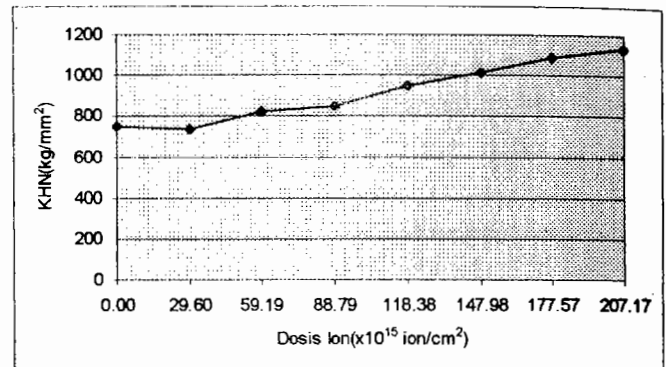
Kekerasan Bahan

Hasil pengujian ditunjukkan dalam gambar 3.

Kurva yang diperlihatkan dalam gambar 3 di atas menunjukkan bahwa kekerasan permukaan bahan meningkat, seiring dengan naiknya dosis ion/waktu implantasi. Semakin banyak dosis ion (D) berarti pada permukaan sampel uji akan terdapat jumlah/lapisan TiN yang semakin besar, sedangkan TiN itu sendiri mempunyai sifat yang sangat keras.

Nilai kekerasan bahan maksimal masih belum dapat ditunjukkan seperti yang terlihat dalam gambar

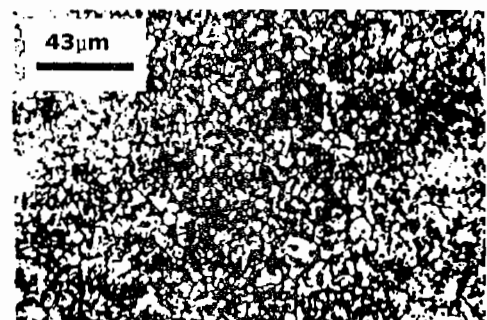
3, karena kurva masih terus mempunyai kecenderungan meningkat untuk dosis ion di atas $207,17 \times 10^{15} \text{ ion/cm}^2$ (waktu implantasi = 210 menit). Berdasarkan pertimbangan harga TiN yang sangat mahal, maka waktu implantasi dibatasi hanya sampai dengan 8 variasi waktu saja dan oleh karena itu waktu implantasi 210 menit dianggap sebagai *optimum time variable* yang diharapkan dapat menghasilkan kekerasan ujung mata bor maksimal. *Optimum time variable* inilah yang selanjutnya digunakan sebagai waktu implan standar pada proses implantasi TiN untuk mata bor utuh sebagai mata bor yang akan dilakukan uji laju pengeboran.



Gambar 3. Grafik kekerasan *Knoop* vs dosis ion

Analisis Struktur Mikro

Foto struktur mikro permukaan ujung mata bor dengan perbesaran 1000x yang mengalami proses implantasi selama 210 menit ditunjukkan dalam gambar 4.



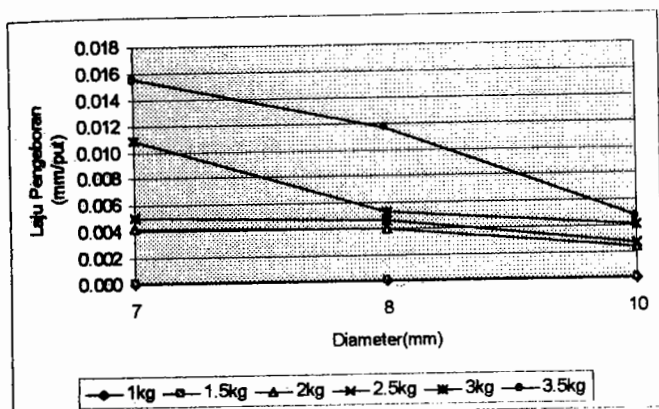
Gambar 4. Foto struktur mikro ujung mata bor implantasi

Struktur mikro bahan mata bor HSS yang diimplan, terlihat butiran-butirannya lebih halus dan merata. Struktur dengan butiran yang halus dapat menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi serta lebih tahan terhadap korosi larutan nital 5%.

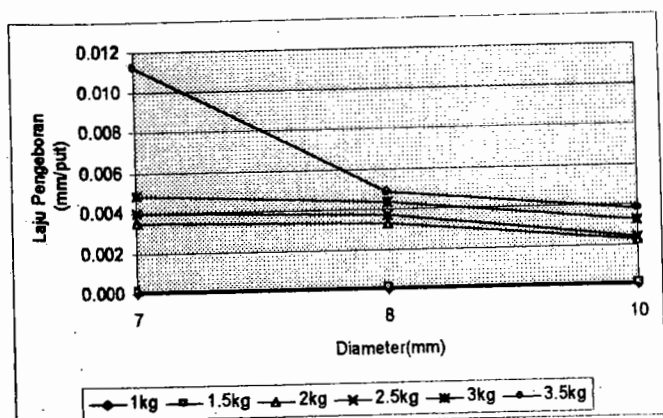
Laju Pengeboran

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan grafik hubungan diantara beberapa variasi pembebanan untuk laju pengeboran terhadap variasi diameter mata bor pada mata bor implantasi dan non implantasi.

Efek implantasi dapat dilihat dengan membandingkan gambar 5 dan 6 di bawah. Peningkatan laju pengeboran pada mata bor implantasi terlihat sangat nyata dan jelas dari pada mata bor non implantasi untuk variasi beban yang semakin meningkat, selain itu laju pengeboran akan menurun seiring dengan semakin besarnya diameter mata bor yang digunakan. Hal ini disebabkan semakin besar diameter mata bor permukaan sisi potongnya akan semakin besar, sehingga semakin besar pula hasil penyayatan. Ini berarti mata bor dengan diameter besar akan membutuhkan gaya aksial lebih besar, padahal beban gaya aksial yang diberikan pada mata bor dengan diameter 7 mm sampai 10 mm besar pembebanannya tetap. Hal inilah yang memberikan efek laju pengeboran menurun pada mata bor berdiameter besar.



Gambar 5. Grafik laju pengeboran vs variasi diameter mata bor implantasi dengan variasi beban



Gambar 6. Grafik laju pengeboran vs variasi diameter mata bor non-implantasi dengan variasi beban

Analisis Komposisi Kimia

Tabel I memperlihatkan perbandingan komposisi kimia dari mata bor implantasi dengan non implantasi, menggunakan metode APNC (Analisa Pengaktifan Neutron Cepat).

Tabel I. Komposisi kimia hasil analisis APNC

Unsur kimia	non implantasi (%)	implantasi (%)
V	0,34	0,45
Cu	0,03	0,06
Ni	0,05	0,07
Si	0,03	0,05
Cr	0,11	0,79
Fe	98,4	96,58
n		1,02
Ti		0,98

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan maka dapat disimpulkan bahwa pada mata bor yang dilakukan proses implantasi terdapat kenaikan kandungan V dan Cr secara nyata yang tidak diketahui sumber atau penyebabnya.

KESIMPULAN

1. Pada dosis implantasi $207,17 \times 10^{15}$ ion/cm² maka angka kekerasan akan meningkat sebesar 51,61% dan laju pengeboran meningkat rata-rata sebesar 1%.
2. Kekerasan maksimal sebesar 1131,70 KHN pada waktu implan optimum 210 menit memberikan laju pengeboran optimum 0,0155280 mm/put pada pembebanan 3,5 kg untuk diameter mata bor 7 mm.
3. Data dari hasil pengamatan dengan variasi diameter, laju pengeboran semakin menurun seiring dengan naiknya diameter mata bor, hal ini disebabkan beban pada *handle* yang diberikan adalah sama untuk semua variasi diameter pada variasi beban yang sama.
4. Data dari hasil pengamatan dengan variasi beban menunjukkan bahwa laju pengeboran semakin meningkat seiring dengan dinaikannya gaya beban, hal ini membuktikan bahwa laju pengeboran mempunyai korelasi positif dengan gaya aksial pembebanan untuk diameter mata bor yang semakin meningkat.

SARAN

Dalam penelitian ini maksimal variasi waktu implantasi hanya dibatasi sampai dengan 210 menit saja, sehingga belum dapat dibuktikan bahwa waktu

tersebut sudah menghasilkan kekerasan yang maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilanjutkan dengan memberikan variasi waktu implantasi di atas 210 menit serta dicoba untuk interval waktu implantasi, diameter mata bor serta pembebanan yang lebih bervariasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pengurus Fakultas Teknik UGM, staf Jurusan Teknik Mesin UGM, staf KPTU UGM, staf Program Diploma Teknik Mesin UGM, staf BATAN Yogyakarta, serta semua pihak yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Boothroyd, G., 1975, *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, International Student Editions, McGraw-Hill, Tokyo.
- Dearnaly, G., Freeman, J.H., Nelson, R.S. and Stephen, J., 1973, *Ion Implantation*, North Holland Publishing Company Inc., New York.
- Dressel, 1992, *The Principle of Ion Implantation*, McGraw Hill, Boston.
- Mayer, J.W., Erikson, L. and Davies, J.A., 1970, *Ion Implantation in Semiconductors*, Academic Press, New York and London.
- Mudjijana, Sudjarmoko, Suyitno, Tj and Sutanto, D., 2001, *Deposisi Lapisan Tipis Titanium Nitrida pada Substrat Aluminium dengan Teknik Sputtering DC*, Prosiding pada Seminar Nasional Pengembangan Keramik, Teknologi dan Aplikasinya, pp 115-126.
- Rudnja, S., Kulu, P., Talimets, E., Mikli, V., Erikhov, F., Straede, C.A. and Zwiag, T., 1997, *Corrosion Performance and Structures of the Titanium-Based Coatings Deposited onto Stainless Steel Substrate with Arc Plating*, Society of Vacuum Coaters 40th Annual Technical Conference Proceedings, Denmark, pp 143-151.
- Venkatesh and Chandrasekaran, 1982, *Cutting Tools Technology*, Ran Aam Publishing, India.